

Method for determining the state of charge of lead accumulators

Publication number: DE10008354

Publication date: 2001-08-30

Inventor: LAIG-HOERSTEBROCK HELMUT (DE); MEISNER
EBERHARD (DE); BRUNN DETLEF (DE); LEIBLEIN
KARL-HEINZ (DE); UEBERMEIER DIETER (DE)

Applicant: VB AUTOBATTERIE GMBH (DE)

Classification:

- international: **G01R31/36; G01R31/36**; (IPC1-7): H01M10/44;
G01R31/36; H02J7/00

- European: G01R31/36M1J; G01R31/36V4L

Application number: DE20001008354 20000223

Priority number(s): DE20001008354 20000223

Also published as:



EP1128187 (A2)

US6392415 (B2)

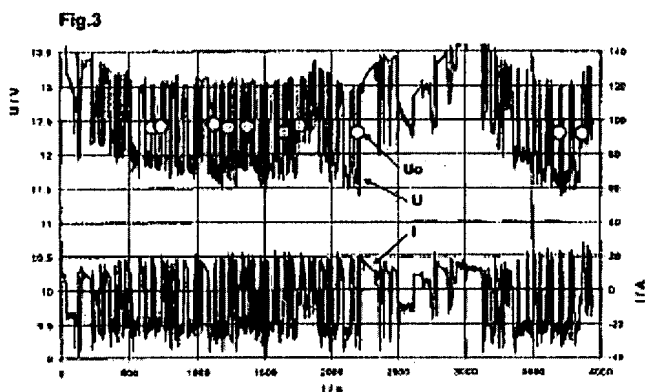
US2001035738 (A1)

EP1128187 (A3)

[Report a data error here](#)

Abstract not available for DE10008354

$$U_i = U_0 + R \cdot I_i + 1/C \int I dt \quad (1)$$



Data supplied from the *esp@cenet* database - Worldwide



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 100 08 354 A 1**

⑤1 Int. Cl.⁷:
H 01 M 10/44
H 02 J 7/00
G 01 R 31/36

②1 Aktenzeichen: 100 08 354.4
②2 Anmeldetag: 23. 2. 2000
④3 Offenlegungstag: 30. 8. 2001

DE 100 08 354 A 1

⑦1 Anmelder:
VB Autobatterie GmbH, 30419 Hannover, DE

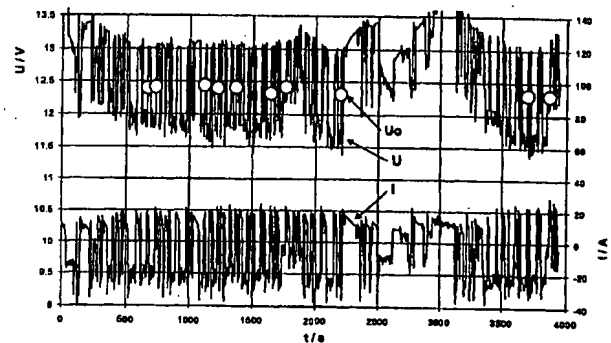
⑦4 Vertreter:
Kaiser, D., Dipl.-Ing., Pat.-Ass., 65779 Kelkheim

⑦2 Erfinder:
Laig-Hörstebroch, Helmut, Dr., 60320 Frankfurt, DE;
Meißner, Eberhard, Dr., 65719 Hofheim, DE; Brunn,
Detlef, 30823 Garbsen, DE; Leiblein, Karl-Heinz,
31515 Wunstorf, DE; Übermeier, Dieter, 30173
Hannover, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

⑤4 Verfahren zur Ermittlung des Ladezustands von Bleiakkumulatoren

⑤7 Bei einem Verfahren zur Bestimmung des Ladezustands von Bleiakkumulatoren durch Abschätzung der aktuellen Ruhespannung werden zeitgleich Messwertpaare (U_i , I_i) von Akkumulatorspannung und fließendem Strom zum Zeitpunkt t_i mit einem zeitlichen Abstand dt aufgenommen, wobei nur solche Wertepaare Berücksichtigung finden, für die im letzten Zeitintervall ausschließlich ein Entladestrom geflossen ist. Mit einer Gruppe von so ausgewählten Messwertpaaren (U_i , I_i) werden die Parameter U_0 , R und C in solcher Weise variiert, dass die Summe der Fehlerabweichungsquadrate zwischen den durch die Formel
$$U_i = U_0 + R \cdot I_i + 1/C \int I dt \quad (1)$$
gegebenen Werten U_i und den gemessenen Werten $U(t_i)$ minimiert wird, und aus der so erhaltenen Spannung wird auf den Ladezustand des Akkumulators geschlossen, wobei R ein Faktor von der Dimension Widerstand ist, C die Dimension einer Kapazität hat und U_0 die nach diesem Algorithmus ermittelte Ruhespannung darstellt.



DE 100 08 354 A 1

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Ermittlung des Ladezustands von Bleiakkumulatoren durch Abschätzung ihrer Ruhespannung während des aktiven Betriebes im Fahrzeug.

Für zahlreiche Anwendungen ist es erforderlich, den aktuellen Ladezustand eines Akkumulators zu bestimmen. Ist zu einem bestimmten Zeitpunkt der aktuelle Ladezustand bekannt, so kann die Änderung des Ladezustands durch kontinuierliche Messung des fließenden Stromes und dessen Aufintegration nachvollzogen werden. Durch die mit diesem Verfahren verbundene Meßungengenauigkeit verschlechtert sich jedoch die Aussagekraft des aktuellen Meßwertes immer weiter, so dass von Zeit zu Zeit ein Rücksetzen der Ladezustandsaussage mit Hilfe eines anderen Verfahrens erforderlich ist.

Im Falle eines Bleiakkumulators ist hierzu aufgrund ihrer direkten Verknüpfung mit dem Ladezustand die Beurteilung der aktuellen Ruhespannung des Akkumulators sehr geeignet (mit voranschreitender Entladung wird Schwefelsäure aus dem Elektrolyten verbraucht, und die Ruhespannung des Bleiakkumulators hängt eindeutig von der Säuredichte ab). Hierzu ist es jedoch erforderlich, dass der Betrieb des Akkumulators für eine gewisse Zeit unterbrochen wird, während der fließende Strom unter einem sehr niedrigen Schwellwert liegen muss. Denn nur im (fast) unbelasteten Zustand zeigt der Bleiakkumulator seine Ruhespannung, während er bei fließenden Lade- oder Entladeströmen eine davon zum Teil stark abweichende Spannung hat.

Auch im unbelasteten Zustand dauert es je nach Vorgesichte oft noch lange, bis der innere Zustand des Akkumulators seinen Gleichgewichtswert und die Spannung ihren Ruhewert erreicht hat. Gerade bei modernen Akkumulatoren ist nach vorangegangenen Ladephasen und bei tiefen Temperaturen die erforderliche Dauer von Phasen ohne Strombeaufschlagung sehr lang, zum Teil viele Stunden bis hin zu einigen Tagen. Daher ist bei Betriebsarten ohne solche langen stromlosen Phasen das Verfahren der Messungen der Ruhespannung zur Bestimmung des Ladezustands im Allgemeinen nur bedingt geeignet. Ein Beispiel hierfür ist der Starterakkumulator im Kraftfahrzeug, wo oft nur Standzeiten von einigen Stunden oder – etwa im Taxibetrieb – fast gar keine Standzeiten auftreten. Bei Raumtemperatur und darüber ist die aktuelle Ruhespannung, die man bei kurzzeitigem Weggelassen des Stromes erhielte, schon ein gutes Maß für die echte Ruhespannung des Akkumulators.

In der DE-196 43 012 A1 wird ein Verfahren angegeben, bei dem Leerlaufspannungswerte U_0 aus den Nulldurchgängen des durch den Akkumulator fließenden Stromes genutzt werden, um die Spannungsreglung des Generators anzusteuern. Dieses Verfahren stellt erhöhte Anforderungen an die Messelektronik; der meist sehr rasche Durchgang durch den Nullpunkt des fließenden Stromes macht eine Interpolation notwendig, welche wegen den Nichtlinearitäten der Strom-/Spannungskurve bei kleinen Strömen nur schwer zu realisieren ist.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren anzugeben, welches auch ohne künstliche Betriebsunterbrechung einen Rückschluss auf die aktuelle Ruhespannung des Akkumulators und auch eine Abschätzung der Ruhespannung während der Belastung des Akkumulators ermöglicht. Aufgrund der festen Korrelation zwischen Ruhespannung und Ladezustand kann daraus auf den aktuellen Ladezustand geschlossen werden.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch das in Anspruch 1 angegebene Verfahren gelöst. In den Unteransprüchen sind vorteilhafte Weiterbildungen des Verfahrens ange-

führt. Das erfindungsgemäße Verfahren besteht im wesentlichen aus zwei Schritten, nämlich zuerst einer Bestimmung der Spannung U_0 , die die Batterie beim kurzfristigen Weggelassen der Last hätte und daran anschließend eine Berechnung des Ladezustandes aus der so erhaltenen Ruhespannung.

Beim erfindungsgemäßen Verfahren wird eine große Zahl von Messpunkten verwertet und daher können Streuungen besser abgefangen werden und die Genauigkeit deutlich erhöht werden.

Die momentane lastfreie Spannung wird dadurch gewonnen, dass regelmäßig zeitgleich Messwertepaare (U_i, I_i) der aktuellen Spannung und des Stromes gemessen werden, und durch eine Ausgleichsrechnung an eine Widerstandsbeziehung mit mehreren freien Parametern angepasst werden. Einer der Parameter ist eine Näherung für die aktuelle lastfreie Batteriespannung U_0 .

Im Folgenden wird die übliche Vorzeichenregelung für Batterieströme verwendet: Ladeströme werden für den Akkumulator stets als positive Ströme, Entladeströme stets als negative Ströme angegeben.

Beim erfindungsgemäßen Verfahren wird eine Auswahl unter den für das Verfahren heranzuziehenden Messwertepaaren (U_i, I_i) vorgenommen. Ziel ist dabei sicherzustellen, dass insbesondere aus vorangegangenen Ladephasen resultierende Ungleichgewichtszustände der Elektroden bereits abgebaut sind, weil die Verwendung von Messwertepaaren (U_i, I_i) aus solchen Zuständen zu falschen Aussagen führen kann.

Insbesondere werden nur solche Messwertepaare (U_i, I_i) verwendet, die in einer Entladephase liegen, d. h. bei denen der aktuelle Strom und der Strom bei der vorangegangenen Messung kleiner sind als Null. Weiterhin wird darauf geachtet, dass eine eventuell vorangegangene Ladephase (mit Stromwerten größer als Null) hinreichend lange zurückliegt.

Für die erfindungsgemäße Bestimmung der momentanen Spannung für Strom Null aus einer Anzahl von Messwertepaaren (U_i, I_i) hat sich ein Widerstandsansatz der Form

$$U_i = U_0 + R \cdot I_i + [a \cdot I_0 \cdot \operatorname{arcsinh}(I_i/I_0) - a \cdot I_i] + 1/C \int I_i dt \quad (1)$$

bewährt. U_0 , R , a , I_0 und C sind dabei die zu variierenden Parameter.

R und a haben die Dimension Widerstand, I_0 hat die Dimension Stromstärke, C hat die Dimension einer Kapazität, und U_0 stellt die nach diesem Algorithmus ermittelte Ruhespannung dar.

Der Term mit den Parametern a und I_0 berücksichtigt Nichtlinearitäten und ist insbesondere bei starken Stromänderungen erforderlich. Ansonsten kann er zur Vereinfachung meist weggelassen werden. Der letzte Teil der Gleichung berücksichtigt kapazitive Effekte in der Batterie durch Integration des geflossenen Stromes. Damit ergibt sich eine vereinfachte Gleichung:

$$U_i = U_0 + R \cdot I_i + 1/C \int I_i dt \quad (2)$$

Bei Messwertstreuungen oder bei überlagertem Rauschen müssen die systematischen Signale natürlich entsprechend groß sein, um eine ausreichende Genauigkeit zu erzielen. Eine Bestimmung des Korrelationskoeffizienten zwischen Strom und Spannung kann darüber Auskunft geben.

Beim erfindungsgemäßen Verfahren zur Abschätzung der aktuellen Ruhespannung eines Bleiakkumulators werden somit

– zeitgleich Messwertepaare (U_i, I_i) von Akkumula-

torspannung und fließendem Strom zum Zeitpunkt t_i mit einem zeitlichen Abstand dt aufgenommen, wobei nur solche Wertepaare Berücksichtigung finden, für die im letzten Zeitintervall ausschließlich ein Entladestrom geflossen ist,

– dann werden mit einer Gruppe von so ausgewählten Messwertpaaren (U_i, I_i) die Parameter U_0 , R und C in solcher Weise variiert, dass die Summe der Fehlerabweichungsquadrate zwischen den durch die Formel

$$U_i = U_0 + R \cdot I_i + 1/C \int I dt \quad (2)$$

gegebenen Werten U_i und den gemessenen Werten $U(t_i)$ minimiert wird,

– schließlich wird aus der so erhaltenen Spannung auf den Ladezustand des Akkumulators geschlossen (Dabei ist R ein Faktor von der Dimension Widerstand, C hat die Dimension einer Kapazität und U_0 stellt die nach diesem Algorithmus ermittelte Ruhespannung dar.)

Um mit höherer Genauigkeit zu arbeiten, wird die Formel

$$U_i = U_0 + R \cdot I_i + [a \cdot i_0 \cdot \operatorname{arcsinh}(I_i/i_0) - a \cdot I_i] + 1/C \int I dt \quad (1)$$

verwendet. (Dabei sind R und a Faktoren von der Dimension Widerstand, i_0 ist ein Faktor von der Dimension Stromstärke, C hat die Dimension einer Kapazität und U_0 stellt die nach diesem Algorithmus ermittelte Ruhespannung dar.)

In weiterer Ausgestaltung des Verfahrens werden die aus Gleichung (1) oder (2) bestimmten U_0 mit zeitlich vorhergehenden Werten verglichen und nur solche Wertepaare (U, I) werden berücksichtigt, für die nachstehende Relation gilt:

$$dU_0/dq = (U_0(t_n) - U_0(t_{n-1})) / (q(t_n) - q(t_{n-1})) < Dgr \quad (3)$$

Der Grenzwert Dgr pro Zelle wird aus dem Bereich $5 \text{ V}/Q_0$ bis $-5 \text{ V}/Q_0$, vorzugsweise mit der Bedingung $\operatorname{Abs}(Dgr) \leq 1 \text{ V}/Q_0$ gewählt. Q_0 ist dabei die Kapazität der Batterie.

Es hat sich bewährt, die berechneten U_0 mit einem oder zwei Nachbarwerten noch einmal zu mitteln, und dann erst Kriterium Gleichung (3) anzuwenden, um zu entscheiden, ob diese Werte U_0 als Ausgangspunkt für eine Bestimmung der Ruhespannung geeignet sind.

Ersatzweise sollte, bevor Messwerte genommen werden, eine ausreichend lange Entlade-Phase (mit einem Strom kleiner als Null) vorgeschaltet sein und zwar so, dass die während ihrer Dauer entladene Ladungsmenge Q^- die während einer vorangegangenen Lade-Phase (mit einem Strom größer als Null) eingeladenen Ladungsmenge Q^+ zumindest ausgleicht.

Gegebenenfalls kann auch eine gezielte Entladung einer Ladungsmenge Q erfolgen, um dieses Ziel zu erreichen.

Die dazu erforderliche Ladungsmenge Q^- ist erfahrungsgemäß nicht größer als etwa 2–3% der Batteriekapazität. Es reicht also eine entsprechende Entladungsladungsmenge $Q^- < 2\text{--}3\%$ der Batteriekapazität, um das reine Entladungsgebiet zu erreichen.

Eine Abschätzung für die hierzu maximal notwendige Entladungsmenge Q^- eines Starterakkumulators mit Nennspannung 12 V und Batteriekapazität Q_0 ist:

$$Q^- = Q_0 \cdot (U - 12 \text{ V}) / 60 \text{ V} \quad (4)$$

wobei U für die in einer kurzen Strompause gemessene Batteriespannung steht.

Ein besonders günstiger erfindungsgemäßer Sonderfall

liegt vor, wenn die während der Entladung der Ladungsmenge Q^- auftretende (negative) Überspannung im Mittel höher ist als die während der vorangegangenen Ladung aufgetretene (positive) Überspannung.

Das Zeitintervall, aus dem die Messwertpaare (U_i, I_i) genommen werden, wird beispielsweise so gewählt, dass sich der Ladezustand in dieser Periode um weniger als 5%, vorzugsweise um weniger als 2% der Batteriekapazität vermindert.

Die bei der Durchführung der Ausgleichsrechnung erhaltenen Parameter (einschließlich der momentanen Ruhespannung) können im Allgemeinen vom Ladezustand und der Batterietemperatur abhängen. Deshalb sollten diese Größen sich während der Phase, aus der Messwertpaare (U_i, I_i) gewählt werden, möglichst wenig ändern. Die Dauer der Phase ist gegebenenfalls entsprechend zu begrenzen. Die Abschätzung der Dauer orientiert sich z. B. an der durch Integration des geflossenen Stromes detektierten eingetretenen Änderung des Ladezustandes.

Weiterhin ist es für die Genauigkeit des Verfahrens anzustreben, dass der Entladestrom bei den ausgewählten Messwertpaaren (U_i, I_i) nicht konstant ist, sondern sich möglichst ändert. Auch hier kann eine entsprechende Selektion der verwendeten Messwertpaare (U_i, I_i) oder alternativ eine

gezielte Beaufschlagung mit wechselnden Stromlasten erfolgen. Auch kann erfindungsgemäß eine Synchronisation der Messdatenerfassung mit dem Ein- und Ausschalten von elektrischen Verbrauchern, insbesondere auch von gepulst betriebenen Verbrauchern, vorgenommen werden, um den gewünschten Effekt zu erzielen. Insbesondere gilt das erfindungsgemäße Verfahren natürlich auch für den von einer Batterie gespeisten Startvorgang.

Somit wird die Auswahl der für die Anpassung an die Funktion (1) oder (2) verwendeten Messwertpaare (U_i, I_i) so getroffen, dass die fließenden (Entlade-)Ströme I_i nicht konstant sind, sondern beispielsweise Änderungen mindestens in der Größenordnung von 0,01 A pro Ah der Batteriekapazität aufweisen.

Eine Synchronisation der Messdatenerfassung und des Ein- und Ausschaltens von Lasten, insbesondere mit pulsgesteuerten Lasten, erfolgt in solcher Weise, dass Messwertpaare (U_i, I_i) mit unterschiedlichen Stromstärken I_i erhalten werden. Es kann auch das Ein- und Ausschalten von Lasten provoziert werden und zwar in solcher Weise, dass Messwertpaare (U_i, I_i) mit unterschiedlichen Stromstärken I_i erhalten werden.

Das Verfahren kann ergänzt werden durch eine Beurteilung des Spannungsverhaltens nach vorangegangener Ladung, indem die zeitliche Veränderung beobachtet wird und dann, wenn diese einen unteren Schwellwert unterschreitet, der aktuelle Spannungsmesswert als Näherungswert für die Ruhespannung verwendet wird. Ist diese Bedingung noch nicht erfüllt, so wird die oben genannte gezielte dosierte Entladung vorgenommen.

Der mittlere während der Entlade-Phase fließende Strom sollte nicht zu hoch sein, um nicht erneute Inhomogenitäten in den Elektroden und im Elektrolyten zu schaffen.

Eine andere, für die Praxis sehr vorteilhafte Vorgehensweise besteht darin, für die Vorauswahl der Messpunkte zunächst nur die Einschränkung eines negativen (d. h. Entlade-)Stromes gelten zu lassen, dann die Parameteranpassung durchzuführen, und erst dann aus dem so gewonnenen Wert U_0 entsprechend einem Kriterium die zu verwendenen Werte zu selektieren. D. h. Auswahl derjenigen Messpunkte, die letztendlich zur Bestimmung des Ladezustandes herangezogen werden, erfolgt erst nach Prüfung ihrer Tauglichkeit.

Vorteilhaft ist es, so zu verfahren, dass man die nach For-

mel (2) berechnete lastfreie Spannung U_0 zum Zeitpunkt t_n mit derjenigen für einen vorhergehenden Zeitpunkt t_{n-1} erhaltenen vergleicht. Dabei werden nur solche Werte U_0 für die Berechnung des Ladezustandes verwendet, für die eine nur schwache Abhängigkeit der Spannung U_0 von der zwischen den Zeitpunkten t_n und t_{n-1} geflossenen Ladungsmenge festgestellt wird. Dies sind Werte für die gilt:

$$dU_0/dq = (U_0(t_n) - U_0(t_{n-1})) / (q(t_n) - q(t_{n-1})) < D_{gr} \quad (3)$$

Der Grenzwert D_{gr} wird aus dem Bereich $6 \text{ V}/Q_0$ bis $-6 \text{ V}/Q_0$ pro in Serie geschaltete Zelle des Akkumulators, vorzugsweise mit der Bedingung $\text{Abs}(D_{gr}) \leq 1 \text{ V}/Q_0$ gewählt. Q_0 ist dabei die Kapazität der Batterie.

Es ist auch möglich, von den erfindungsgemäß bestimmten Werten U_0 nur solche Werte zu selektieren, für die die lineare Regression an die Werte U_0 gegen die umgesetzte Ladung eine Neigung hat die kleiner ist als D_{gr} , wobei D_{gr} pro Batteriezeile aus dem Bereich von $6 \text{ V}/Q_0$ bis $-6 \text{ V}/Q_0$ gewählt wird, vorzugsweise mit der Bedingung $\text{Abs}(D_{gr}) < 1 \text{ V}/Q_0$.

Eine weitere Verbesserung der Genauigkeit der Vorhersage ergibt sich dadurch, dass der zu einem bestimmten Zeitpunkt t_0 erhaltene Ladezustandswert $\text{SOC}(t_0)$ zur Bestimmung des Ladezustandes zur allgemeinen Zeit t mit anderen Verfahren zur Ermittlung des Ladezustandes oder aber mit Verfahren zur Ermittlung der Änderung des Ladezustands $\Delta\text{SOC}(t_0, t)$ in der Zeit von t_0 bis t verknüpft wird, wobei vorteilhaft $\Delta\text{SOC}(t_0, t)$ aus der durch Integration des durch den Akkumulator fließenden Stromes ermittelten umgesetzten Ladungsmenge berechnet wird.

In weiterer Ausbildung des Verfahrens werden die zu verschiedenen Zeiten t_i erhaltenen (fehlerbehafteten) Ladezustandswerte $\text{SOC}(t_i)$ mit anderen Verfahren zur Ermittlung (fehlerbehafteter) Ladezustandswerte oder aber mit Verfahren zur Ermittlung der (fehlerbehafteten) Änderung des Ladezustands $\Delta\text{SOC}(t_i, t_{i+1})$ in der Zeit von t_i bis t_{i+1} verknüpft, und so ein aktueller Ladezustandswert SOC ermittelt, wobei dieser Wert durch Anwendung eines Minimalisierungsverfahrens, vorzugsweise der Methode der kleinsten Fehlerquadrate, erhalten wird.

Die erhaltenen Spannungswerte U_0 können auch mit einem Grenzwert $U_0\text{-min}$ verglichen werden, und die Unterschreitung wird angezeigt und/oder eine Maßnahme wird ergriffen. Der Grenzwert $U_0\text{-min}$ wird so gewählt, dass er etwa der Gleichgewichtsspannung des Akkumulators nach Entnahme seiner Nennkapazität entspricht.

Zusammenfassend ergibt sich erfindungsgemäß folgende Vorgehensweise:

1. Messung der Spannung $U(t)$ und des Stromes $I(t)$
2. Falls $I(t) > 0$, dann wird die Messung verworfen, gehe zu 1.; sonst
3. Falls die vorangegangenen Messungen $I(t-1)$, $I(t-2)$, ... > 0 , gehe zu 1.; sonst
4. Wende Gleichung (1) oder (2) auf eine Menge von Wertepaaren U, I an, und erhalte so U_0
5. (OPTIONAL: Mittele über einige so erhaltene U_0 , sofern dazwischen kein Messwert mit $I > 0$ gelegen hat)
6. Wende Gleichung (3) an und stelle fest, ob die Entladung im Bereich mit geringer Abhängigkeit der Spannung von der entnommenen Ladungsmenge liegt; falls nein, so wird verworfen, gehe zu 1.; sonst
7. Berechne aus U_0 den Ladezustand über den Zusammenhang von Spannung, Elektrolytkonzentration und Ladezustand.

Im Folgenden ist anhand der Beispiele 1 bis 5 und der Fig. 1 bis 4 das Verfahren noch näher erläutert.

Beispiel 1

Fig. 1 zeigt den typischen Verlauf von Strom und Spannung an einer Fahrzeugbatterie bei einer Stadtfahrt. Es handelt sich um eine sechszellige Bleibatterie mit 48 Ah Kapazität. Die Batterie befindet sich in einem Ladezustand von ca. 70%.

Auf diesen Fahrzyklus wurde der beschriebene Algorithmus angewendet, d. h. Anpassung der Parameter in Gleichung (1) mit der erwähnten Vereinfachung $a = 0$ und $i_0 = 0$. Die erhaltenen Werte für sämtliche U_0 sind als Kreise in Fig. 1 eingetragen.

Die Auswahl der möglicherweise zur Ermittlung des Ladezustandes tauglichen Punkte U_0 erkennt man in Fig. 2. Dort, wo die Kurve flach verläuft, liegen die nutzbaren Werte. Es empfiehlt sich eine Mittelung der Werte vorzunehmen und dann das Kriterium Gleichung (3) anzuwenden. Die Werte U_0 , die nach Anwendung des Kriteriums Gleichung (3) mit $D_{gr} = 0.1$ übrigbleiben, sind in Fig. 3 dargestellt.

Das Ergebnis zeigt, dass die Bestimmung der Ruhespannung U_0 in diesem Beispiel nach Entnahme von ca. 1 Ah möglich ist. Man erhält einen Ruhespannungswert von ca. 12.4 V. Hieraus ergibt sich bei der konkreten Batterie über den Zusammenhang von Ruhespannung und Ladezustand ein Ladezustand von ca. 67%, in guter Übereinstimmung mit dem Ausgangswert von ca. 70% minus der zwischenzeitlich entnommenen ca. 1,5 Ah.

Beispiel 2

In Betriebsphasen mit geringer Stromdynamik können Zustände mit wechselnder Stromstärke provoziert werden, um das erfindungsgemäße Verfahren anwenden zu können.

Als wechselnde Last bei einer Batterie von z. B. 80 Ah Nennkapazität wird z. B. ein Strom von 20 A Amplitude für eine Zeitperiode von z. B. 30 s Dauer z. B. alle 3 s ein- und ausgeschaltet und die Spannung und Ströme mit einem Messtakt von z. B. 0.5 s registriert. Nach dieser Periode kann ein weiterer Stromdurchsatz (z. B. ein durch den bestimmungsgemäßen Betrieb verursachter konstanter Strom von z. B. 5 A) entnommen werden, bis insgesamt eine Ladungsmenge von ca. 0.25 Ah entnommen sind.

Dann erfolgt eine Wiederholung der obigen Wechsellast für weitere 30 s.

Nach Auswertung der Spannungs-/Strompaare jeder Wechsellast bleiben insgesamt 6 Anpassungsparameter (die 5 Größen U_0, R, a, I_0, C aus Gleichung. (1) sowie q) übrig, die langfristig gespeichert werden müssen.

Günstig ist eine häufigere Wiederholung dieses Vorgehens.

Aus zwei solchen Phasen mit Wechsellast wird zuerst darauf geschlossen, ob die Messpunkte brauchbar waren, und wenn ja, dann wird daraus die Ruhespannung abgeschätzt.

Wenn den Signalen höherfrequente Anteile überlagert sind, ist ein Messtakt von 0.5 s nicht ausreichend; es ist dann vorteilhaft, mit beispielsweise 0.1 s Messtakt zu registrieren und beispielsweise auf 1 s zu mitteln ("Tiefpassfilter").

Beispiel 3

Das erfindungsgemäße Verfahren ist geeignet, unter bestimmten Betriebsbedingungen auf die aktuelle Ruhespannung $U_0(t_0)$ des Akkumulators zur Zeit t_0 und daraus auf seinen Ladezustand $\text{SOC}(t_0)$ zu schließen, auch wenn der

Akkumulator mit Strom beaufschlagt wird. Bei anderen Betriebsbedingungen ist eine Anwendung jedoch möglicherweise nicht möglich, weil die Voraussetzungen nicht gegeben sind.

Um auch in diesen allgemeinen Fällen zur Zeit t eine Aussage über den aktuellen Ladezustand zu ermöglichen, liegt es im Rahmen der Erfindung, eine Verknüpfung mit anderen Verfahren zur Bestimmung des Ladezustandes vorzunehmen.

Vorteilhaft handelt es sich dabei z. B. um Verfahren zur Bestimmung der Änderung des Ladezustandes ΔSOC , z. B. durch die Aufintegration des in der Zeit von t_0 bis t geflossenen Stromes I .

In diesem Falle gilt beispielsweise:

$$SOC(t) = SOC(t_0) + \Delta SOC(t_0, t)$$

$$\text{mit } \Delta SOC(t_0, t) = 1/Q_0 \int I dt.$$

Beispiel 4

Das erfindungsgemäße Verfahren ist geeignet, unter bestimmten Betriebsbedingungen auf die aktuelle Ruhespannung $U_0(t_0)$ des Akkumulators zur Zeit t_0 und daraus auf seinen Ladezustand $SOC(t_0)$ zu schließen, auch wenn der Akkumulator mit Strom beaufschlagt wird.

Weiterhin kann entsprechend Beispiel 3 eine Verknüpfung mit Verfahren zur Bestimmung der Änderung des Ladezustandes ΔSOC erfolgen.

Sowohl die Bestimmung des Ladezustandes $SOC(t_0)$ wie die Bestimmung der Änderung des Ladezustandes ΔSOC ist jedoch mit einem Messfehler verbunden, der sich aus der Ungenauigkeit der Messungen von Spannung und Zeit und beliebigen anderen Fehlerquellen zusammensetzt.

Wird im kontinuierlichen Betrieb wiederholt, z. B. n -mal, der aktuelle Ladezustand $SOC(t_i)$ zu verschiedenen Zeiten t_i ($i = 1, 2, \dots, n$) bestimmt und auch die Änderung des Ladezustandes $SOC(t_i, t_i + 1)$ zwischen diesen Zeitpunkten, so erhält man ein überbestimmtes Problem.

Es liegt im Rahmen der Erfindung, durch Verwendung eines Minimierungsverfahrens hieraus einen Ladezustand zu berechnen, und so die oben genannten Fehler zu mindern. Die Schärfe des Verfahrens wird hierdurch um so mehr erhöht, je mehr unabhängige Bestimmungen des Ladezustandes möglich sind.

Es liegt ebenfalls im Rahmen der Erfindung, eine Verknüpfung mit anderen Verfahren zur Bestimmung des Ladezustandes vorzunehmen, um so die Zahl unabhängiger Bestimmungen des Ladezustandes zu erhöhen.

Beispiel 5

Bei tieferen Temperaturen ($< 0^\circ C$) besteht eine merkliche Abweichung zwischen dem berechneten U_0 und der Ruhespannung des Akkumulators, die sich nach langer Wartezeit einstellen würde. Aber auch in diesen Fällen ist U_0 eine wertvolle Größe. Es wurde festgestellt, dass U_0 als Vorwarnung für einen bei gleichbleibender mittlerer Last bald bevorstehenden Zusammenbruch der Batteriespannung verwendet werden kann. Ein repräsentatives Beispiel zeigt Fig. 4: Dort ist die Spannungsantwort U einer Batterie auf den aufgetragten Strom I aufgetragen. Dieses Profil enthält langsame Stromänderungen und solche, die etwa einer Frequenz von 1 bis 0.3 Hz entsprechen. Ein Beispiel dafür ist durch L gekennzeichnet. Für die Auswertung werden die schnelleren Stromänderungen verwendet. In Fig. 4 sind die entsprechend dem erfindungsgemäßen Verfahren ermittelten

U_0 Werte als große Kreise eingetragen. Wenn U_0 etwa den Wert $U_{0-\min} = 11.5 \text{ V}/6 \text{ Zellen}$ unterschreitet, erfolgt der Spannungszusammenbruch sehr bald. Es hat sich gezeigt, dass dann im allgemeinen noch ca. 10 bis 20% der Batteriekapazität zur Verfügung stehen.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Bestimmung des Ladezustands von Bleiakkulatoren durch Abschätzung der aktuellen Ruhespannung, **dadurch gekennzeichnet**, dass zeitgleich Messwertpaare (U_i, I_i) von Akkumulatorspannung und fließendem Strom zum Zeitpunkt t_i mit einem zeitlichen Abstand dt aufgenommen werden, wobei nur solche Wertepaare Berücksichtigung finden, für die im letzten Zeitintervall ausschließlich ein Entladestrom geflossen ist, dass mit einer Gruppe von so ausgewählten Messwertpaaren (U_i, I_i) die Parameter U_0, R und C in solcher Weise variiert werden, dass die Summe der Fehlerabweichungsquadrate zwischen den durch die Formel

$$U_i = U_0 + R \cdot I_i + 1/C \int I dt \quad (1)$$

gegebenen Werten U_i und den gemessenen Werten $U(t_i)$ minimiert wird, und dass aus der so erhaltenen Spannung auf den Ladezustand des Akkumulators geschlossen wird, wobei R ein Faktor von der Dimension Widerstand ist, C die Dimension einer Kapazität hat und U_0 die nach diesem Algorithmus ermittelte Ruhespannung darstellt.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass mit einer Gruppe von so ausgewählten Messwertpaaren (U_i, I_i) die Parameter U_0, R, a, i_0 und C in solcher Weise variiert werden, dass die Summe der Fehlerabweichungsquadrate zwischen den durch die Formel

$$U_i = U_0 + R \cdot I_i + [a \cdot i_0 \cdot \operatorname{arcsinh}(I_i/i_0) - a \cdot I_i] + 1/C \int I dt \quad (2)$$

gegebenen Werten U_i und den gemessenen Werten $U(t_i)$ minimiert wird, und dass aus der so erhaltenen Spannung auf den Ladezustand des Akkumulators geschlossen wird, wobei R und a Faktoren von der Dimension Widerstand sind, i_0 ein Faktor von der Dimension Stromstärke ist, C die Dimension einer Kapazität hat und U_0 die nach diesem Algorithmus ermittelte Ruhespannung darstellt.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass bestimmte U_0 mit zeitlich vorhergehenden Werten verglichen werden und dass nur solche Werte U_0 berücksichtigt werden, für die die Relation gilt:

$$dU_0/dq = (U_0(t_n) - U_0(t_{n-1})) / (q(t_n) - q(t_{n-1})) < Dgr \quad (3),$$

wobei der Grenzwert Dgr pro Zelle aus dem Bereich $6 \text{ V}/Q_0$ bis $-6 \text{ V}/Q_0$, vorzugsweise mit der Bedingung $\operatorname{Abs}(Dgr) \leq 1 \text{ V}/Q_0$ gewählt wird und Q_0 dabei die Kapazität der Batterie ist.

4. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass lediglich solche Messwertpaare (U_i, I_i) verwendet werden, bei denen $I_i < 0$ und seit dem letzten Messwert mit einem positiven Strom und einem Zeitintervall dt mit positiven Beitrag Q^+ zum Ladezustand folgende Bedingung erfüllt ist:

der Betrag von Q^- ist entweder größer als der Betrag von Q^+ , oder aber der Betrag von Q^- ist größer als 2% der Batteriekapazität, wobei Q^- die (entladene) Ladungsmenge darstellt, die seit dem letzten Messpunkt mit positivem Batteriestrom in einer ununterbrochenen Entladephase entnommen wurde, und Q^+ die (geladene) Ladungsmenge darstellt, die in der letzten ununterbrochenen (Lade-)Phase mit positivem Batteriestrom eingeladen wurde.

5. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass eine Synchronisation der Messdatenerfassung und des Ein- und Ausschaltens von Lasten, insbesondere mit pulsgesteuerten Lasten, in solcher Weise erfolgt, dass Messwertepaare (U_i, I_i) mit unterschiedlichen Stromstärken I_i erhalten werden.

6. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass das Ein- und Ausschalten von Lasten provoziert wird und zwar in solcher Weise, dass Messwertepaare (U_i, I_i) mit unterschiedlichen Stromstärken I_i erhalten werden.

7. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass der so zu einem bestimmten Zeitpunkt t_0 erhaltene Ladezustandswert SOC (t_0) zur Bestimmung des Ladezustandes zur allgemeinen Zeit t mit anderen Verfahren zur Ermittlung des Ladezustandes oder aber mit Verfahren zur Ermittlung der Änderung des Ladezustands $\Delta SOC(t_0, t)$ in der Zeit von t_0 bis t verknüpft wird, wobei vorzugsweise $\Delta SOC(t_0, t)$ aus der durch Integration des durch den Akkumulator fließenden Stromes ermittelten umgesetzten Ladungsmenge berechnet wird.

8. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass die zu verschiedenen Zeiten t_i erhaltenen Ladezustandswerte SOC (t_i) mit anderen Verfahren zur Ermittlung von Ladezustandswerten oder mit Verfahren zur Ermittlung der Änderung des Ladezustands $\Delta SOC(t_i, t_{i+1})$ in der Zeit von t_i bis t_{i+1} verknüpft wird, und durch Anwendung eines Minimalisierungsverfahrens ein aktueller Ladezustandswert SOC ermittelt wird.

9. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass die erhaltenen Spannungswerte U_0 mit einem Grenzwert U_{0-min} verglichen werden, und die Unterschreitung angezeigt und/oder eine Maßnahme ergriffen wird.

10. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass der Grenzwert U_{0-min} so gewählt wird, dass er etwa der Gleichgewichtsspannung des Akkumulators nach Entnahme seiner Nennkapazität entspricht.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

55

60

65

Fig.1

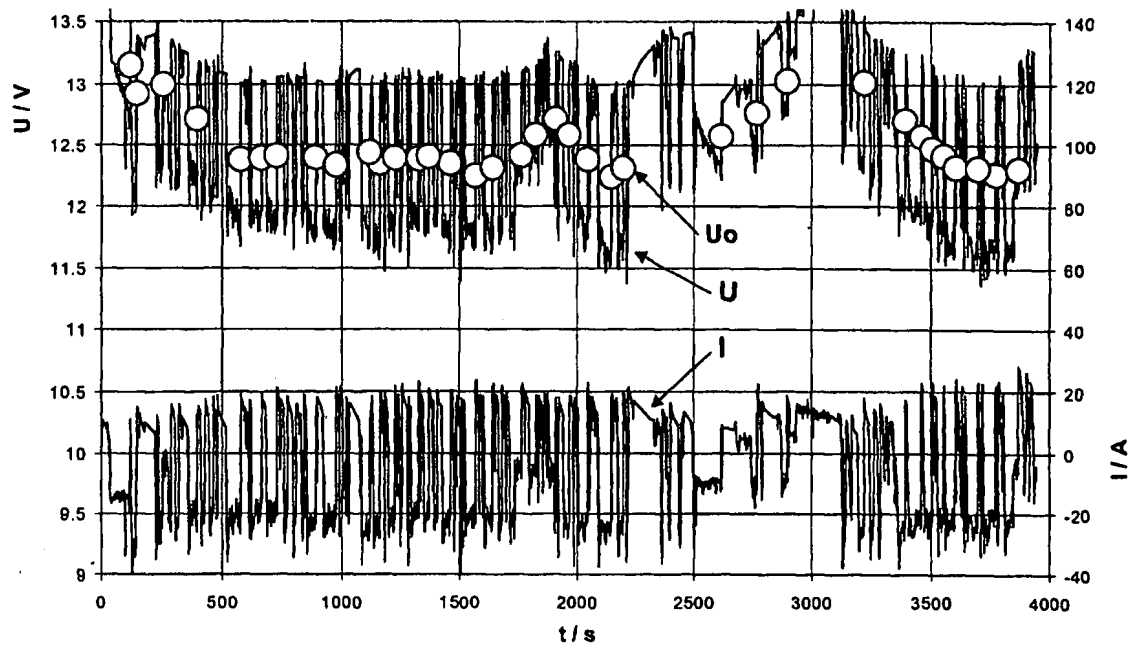


Fig.2

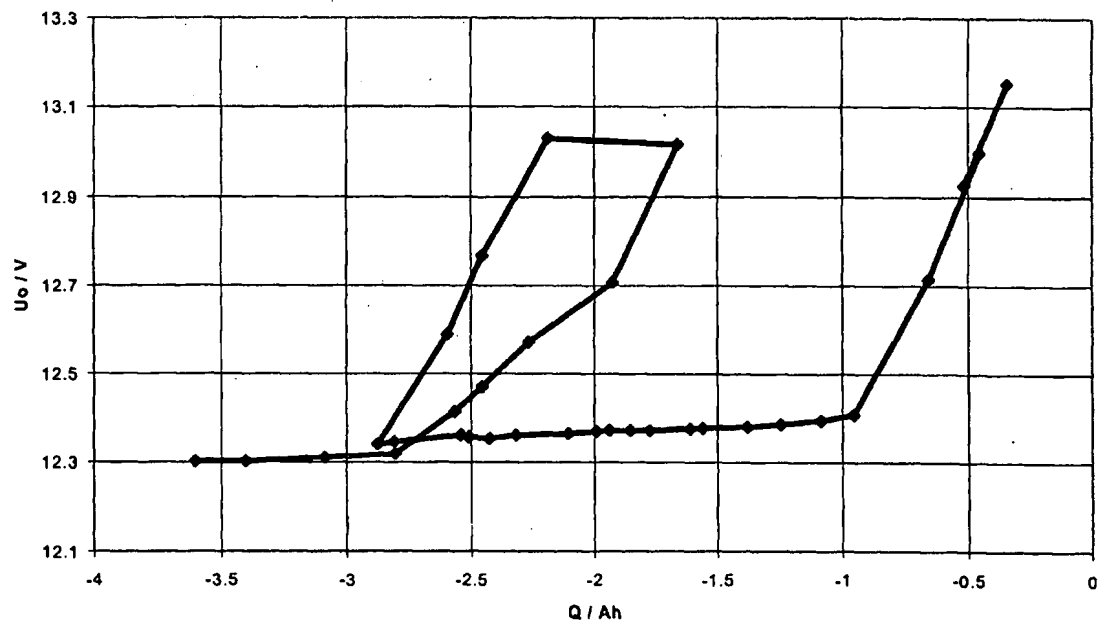


Fig.3

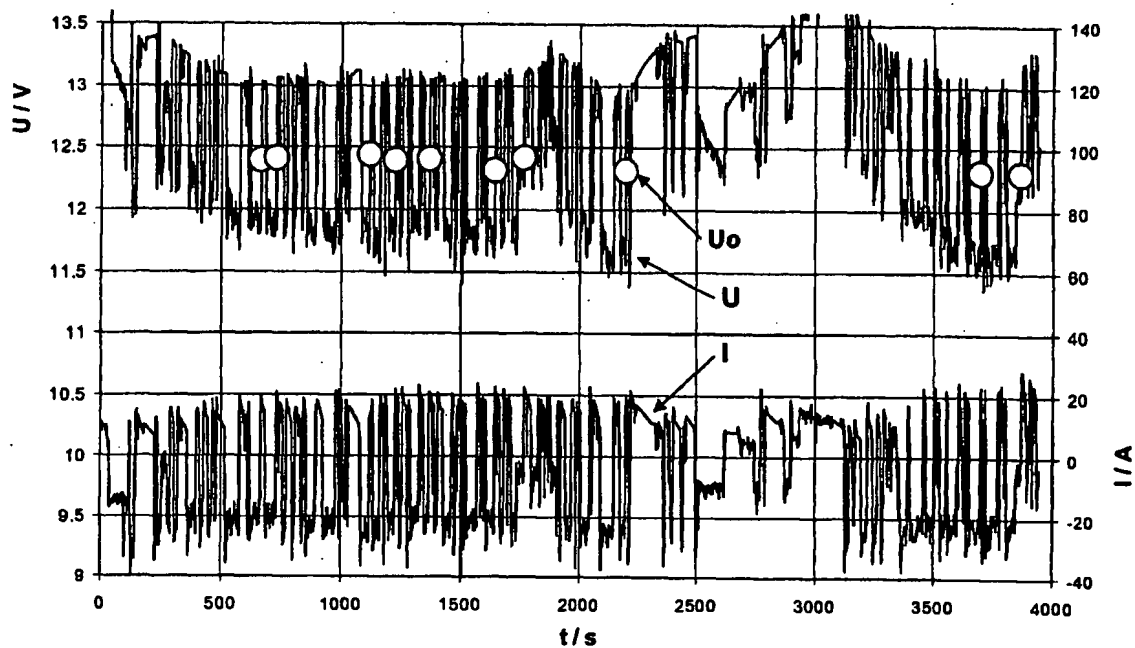


Fig.4

